

Die eierlegende Wollmilch-HD-Map in der Simulation und im Fahrzeug

INTERGEO, 19.09.2019, Stuttgart

*Vom Fahrerassistenzsystem zum autonomen Fahren:
Grundlagen – Daten – Systeme*

Michael Scholz



Wissen für Morgen



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

Institut für Verkehrssystemtechnik



Wissen für Morgen



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.



Forschungseinrichtungen

- Luftfahrt
 - Raumfahrt
 - Energie
 - Verkehr
 - Digitalisierung
 - Sicherheit
- 26 Standorte
 - 49 Institute
 - Etwa 8700 Mitarbeiter
 - Viele Studenten

Raumfahrtagentur
Projektträger



Institut für Verkehrssystemtechnik

Eckdaten

- In Berlin und Braunschweig
- Insgesamt etwa 200 Mitarbeiter

Forschungsfelder

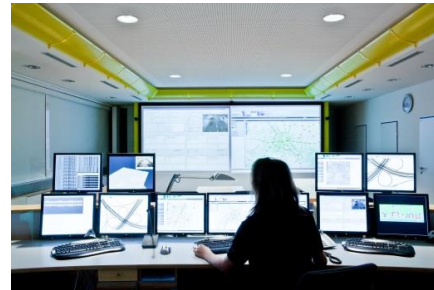
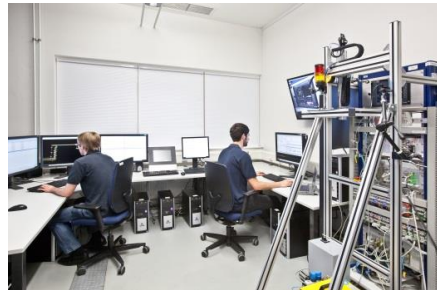
- Automotive
- Bahnsysteme
- Verkehrsmanagement
- Intermobilität und ÖPNV

Aufgabenbereiche

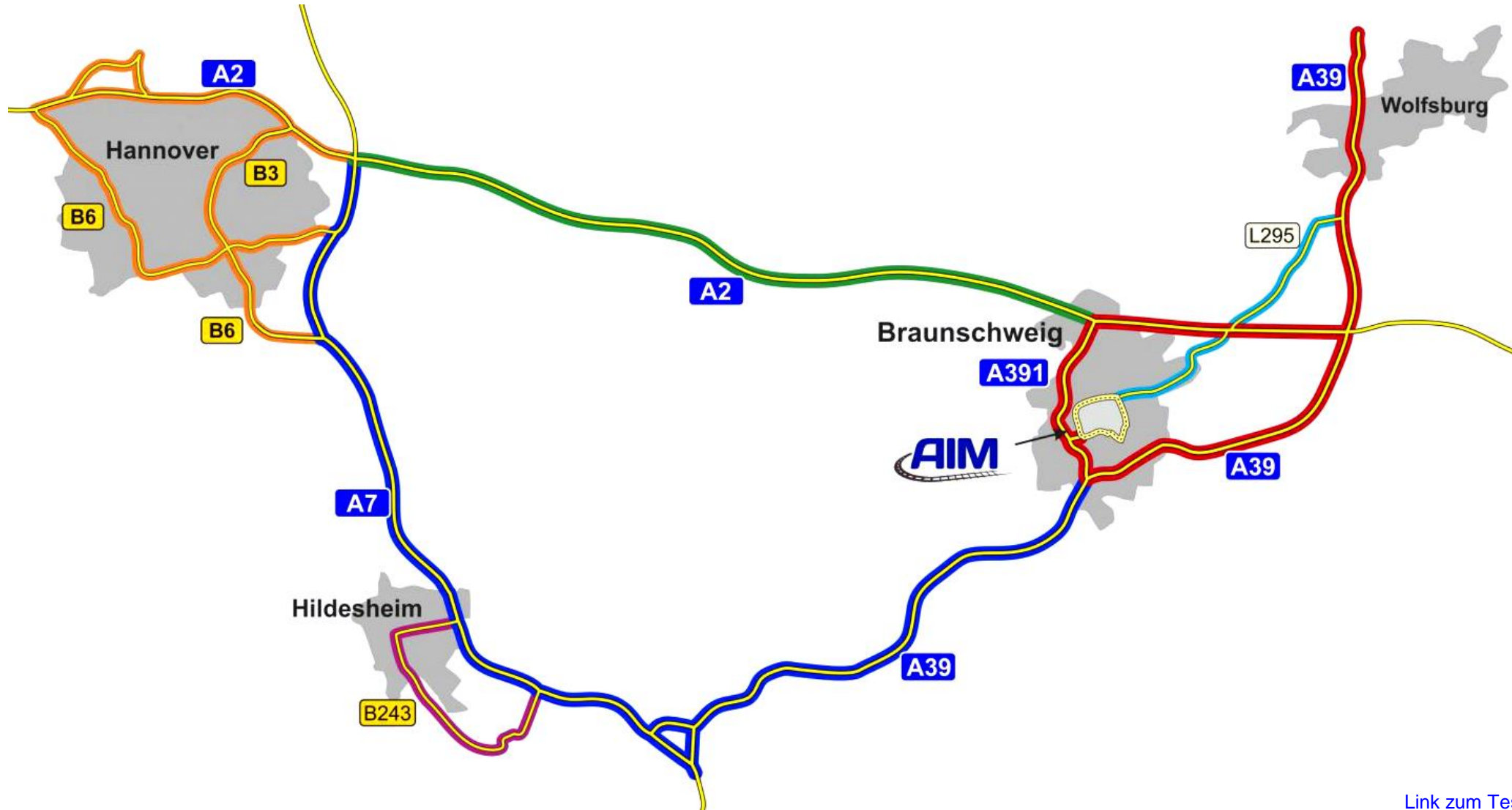
- Grundlagenforschung
- Konzeption und Strategieentwicklung
- Prototypenentwicklung



Unsere Verkehrsforschungsinfrastruktur ...



... und das Testfeld Niedersachsen





Forschungsprojekt **PEGASUS**

Automatisiertes Fahren effektiv absichern



Wissen für Morgen



Forschungsprojekt PEGASUS

Projekt zur **E**tablierung von **g**enerell **a**kzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie **S**zenarien **u**nd **S**ituationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen

„Ziel ist es, ein Vorgehen für das Testen automatisierter Fahrfunktionen zu entwickeln, um damit die rasche Einführung des automatisierten Fahrens in der Praxis zu ermöglichen.“



Vier Teilprojekte

Szenarienanalyse & Qualitätsmaße

- Definiert relevante Szenarien für einen „Autobahn-Chauffeur“
- Untersucht Leistungsfähigkeit von Mensch und Maschine
- Beantwortet die Frage „wie gut ist gut genug?“

Testen

- Erarbeitet Methoden und Werkzeuge für Tests
- im Labor,
- auf einem Prüfgelände,
- im realen Verkehrsgeschehen

Umsetzungsprozesse

- Analysiert Industrieprozesse im Kontext der Absicherung
- Bereitet das Testen mithilfe neuer Prozesse vor

Ergebnisreflektion & Einbettung

- Stellt sicher, dass erarbeitete Verfahren auch auf andere Automationslevel übertragbar sind
- Stellt sicher, dass Werkzeuge und Prozesse in Unternehmen integriert werden können



„... zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen“

beispielhafter „Autobahn-Chauffeur“
in PEGASUS entspricht SAE-Stufe 3

Automationsstufen nach SAE J3016

SAE-Stufe	Name	Beschreibung	Quer- und Längsführung	Umgebungsbeobachtung	Rückfallebene
Stufe 0	Keine Automation	Der Fahrer fährt eigenständig, auch wenn unterstützende Systeme (z. B. ABS oder ESP) vorhanden sind.	Fahrer	Fahrer	keine
Stufe 1	Assistenzsysteme	Fahrerassistenzsysteme helfen bei der Fahrzeugbedienung bei Längs- oder Querführung (u. a. ACC).	Fahrer und System	Fahrer	Fahrer
Stufe 2	Teilautomatisierung	Ein oder mehrere Fahrerassistenzsysteme helfen bei der Fahrzeugbedienung bei Längs- und gleichzeitiger Querführung.	System	Fahrer	Fahrer
Stufe 3	Bedingte Automatisierung	Autonomes Fahren mit der Erwartung, dass der Fahrer auf Anforderung zum Eingreifen reagieren muss.	System	System	Fahrer
Stufe 4	Hochautomatisierung	Automatisierte Führung des Fahrzeugs ohne die Erwartung, dass der Fahrer auf Anforderung zum Eingreifen reagiert. Ohne menschliche Reaktion steuert das Fahrzeug weiterhin autonom.	System	System	<u>System</u>
Stufe 5	Vollautomatisierung	Vollständig autonomes Fahren, bei dem die dynamische Fahraufgabe unter jeder Fahrbahn- und Umgebungsbedingung, welche auch von einem menschlichen Fahrer beherrscht wird, durchgeführt wird.	System	System	System

Autobahn-Chauffeur

enthaltene Funktionen

nicht enthaltene Funktionen

Geschwindigkeit
0 - 130 km/h

Autobahnen oder Autobahn
ähnlichen Straßen inkl.
Fahrstreifenmarkierungen

Inklusive automatisierter
Fahrstreifenwechsel

Exklusive automatisiertes
Abfahren von der Autobahn

Exklusive automatisiertem
Fahren bei extrem
schlechtem Straßenwetter –
wie z.B. starker Straßenglätte
– oder starker
Sichtweitereinschränkung

Inklusive automatisiertem
Notbremsen und
Notausweichen

Exklusive automatisiertes
Auffahren auf die Autobahn

Exklusive
Baustellen

Inklusive automatisierte
Staufolgefahren im Stop &
Go Verkehr

Herausforderung

*„Pegasus erarbeitet ein methodisches Vorgehen zur Ableitung,
Durchführung und Auswertung von Testfällen,
um den Nachweis zu erbringen,
dass [die hochautomatisierte Fahrfunktion] HAF
mindestens so gut ist, wie der menschliche Fahrer.“*



PEGASUS-Eckdaten

42 Monate Laufzeit: 01. Januar 2016 – 30. Juni 2019

17 Partner:

- OEM: Audi, BMW, Daimler, Opel, Volkswagen
- Tier 1: Automotive Distance Control, Bosch, Continental Teves
- Technische Prüforganisation: TÜV SÜD
- KMU: fka, iMAR, IPG, QTronic, TraceTronic, VIRES
- Forschung: DLR, TU Darmstadt

12 Unteraufträge: u.a. IFR, ika, OFFIS

Projektvolumen: ca. 34,5 Mio. EUR, Fördervolumen 16,3 Mio. EUR (BMW i)

Personaleinsatz: ca. 1.791 Personenmonate bzw. 149 Personenjahre



Die HD-Map

In der Simulation



Wissen für Morgen



Highly-detailed map?

„Holla, die Waldfee“-Map?

HD-Map?

Hochgenaue Karte!

High-definition map?

**Und was ist eigentlich eine
nicht-hochgenaue Karte?**

Zur Erinnerung

Szenarienanalyse & Qualitätsmaße

- Definiert relevante Szenarien für einen „Autobahn-Chauffeur“
- Untersucht Leistungsfähigkeit von Mensch und Maschine
- Beantwortet die Frage „wie gut ist gut genug?“

Testen

- Erarbeitet Methoden und Werkzeuge für Tests
- im Labor,
- auf einem Prüfgelände,
- im realen Verkehrsgeschehen

Umsetzungsprozesse

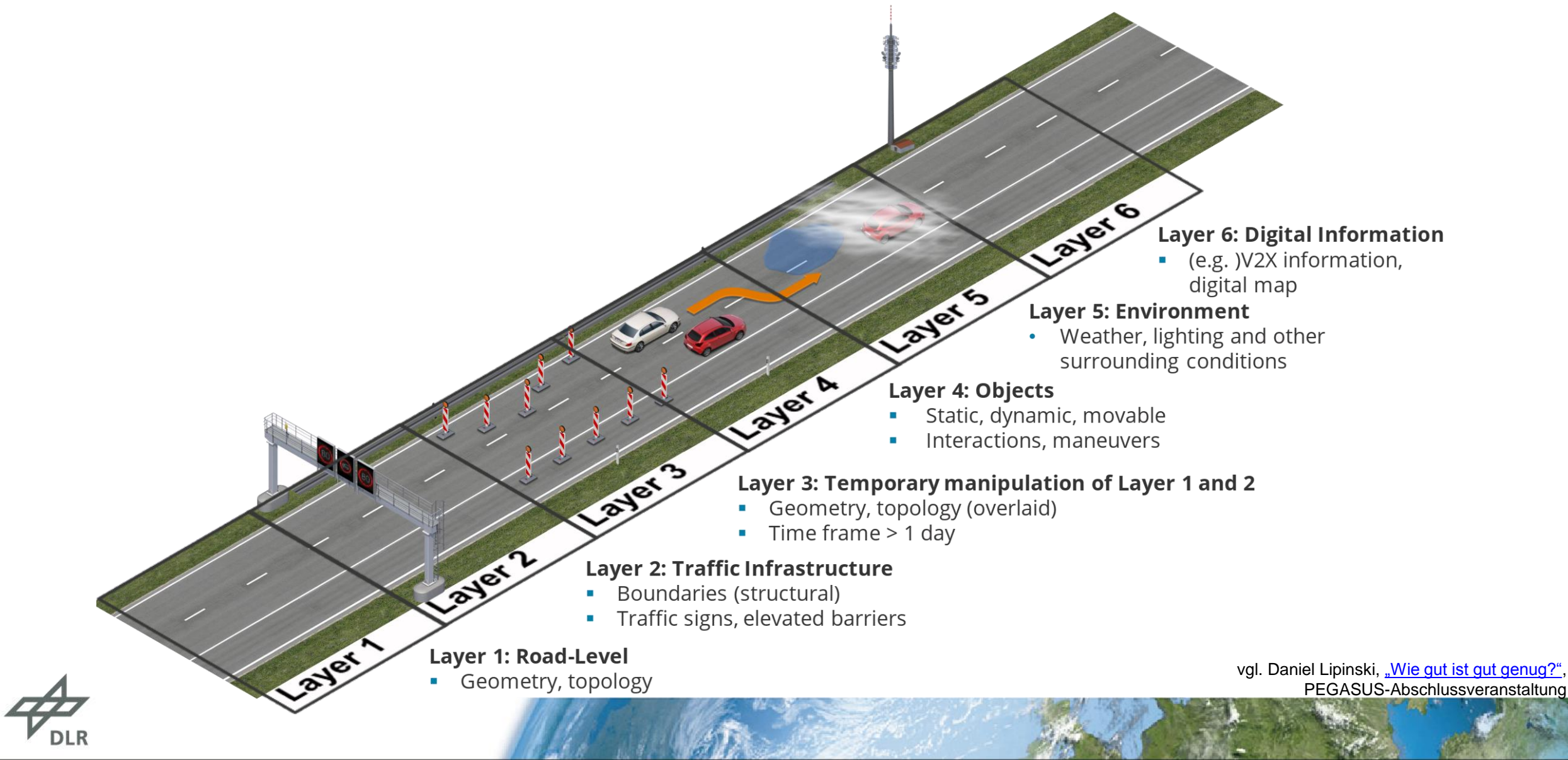
- Analysiert Industrieprozesse im Kontext der Absicherung
- Bereitet das Testen mithilfe neuer Prozesse vor

Ergebnisreflektion & Einbettung

- Stellt sicher, dass erarbeitete Verfahren auch auf andere Automationslevel übertragbar sind
- Stellt sicher, dass Werkzeuge und Prozesse in Unternehmen integriert werden können

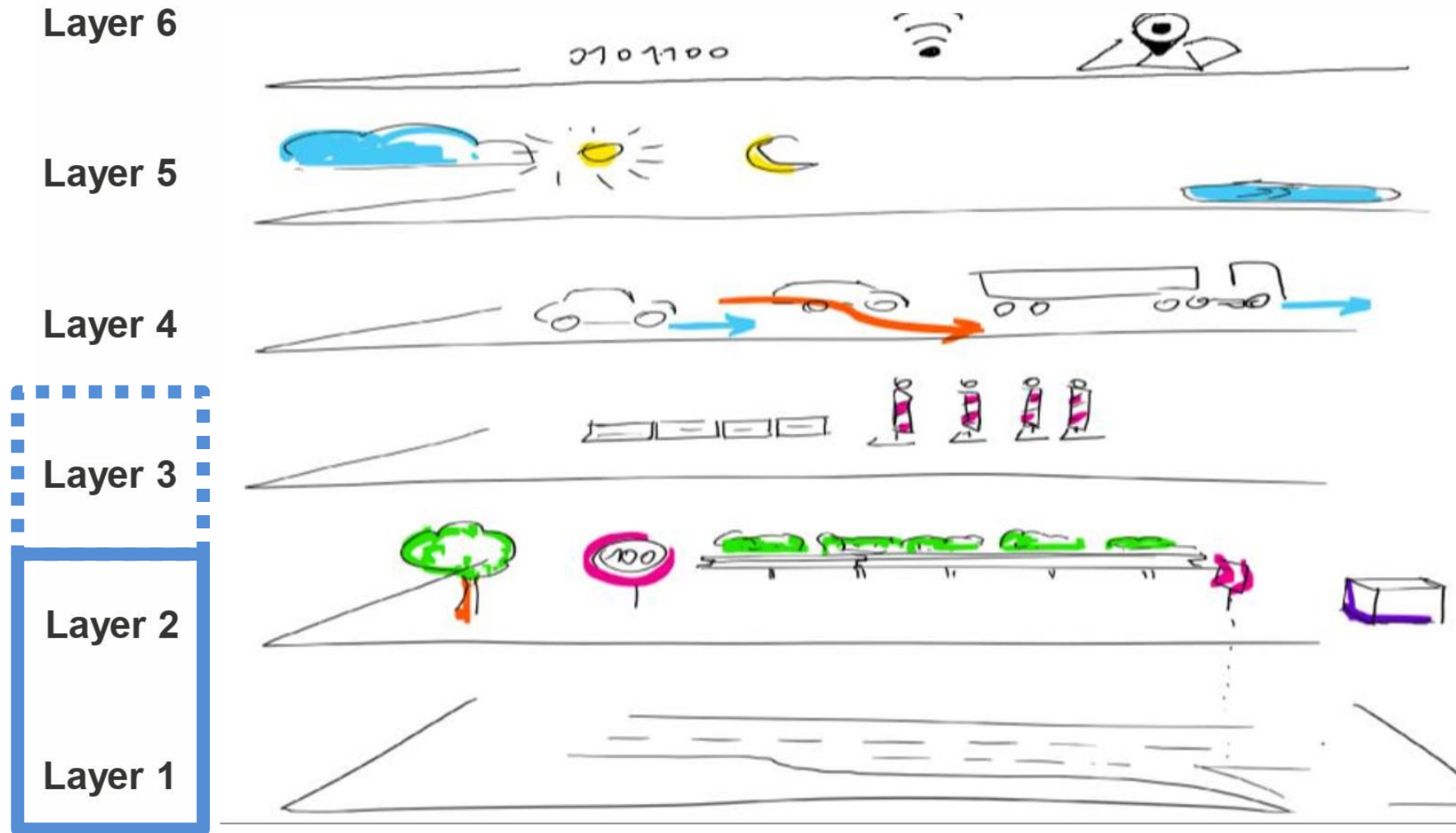


Beschreibungsebenen für Szenarien → Informationsumfang „in der Karte“



Beschreibungsebenen für Szenarien → Informationsumfang „in der Karte“

HD?



Abstraktion des Szenario-Begriffs

funktional

Fernautobahn

Linkskurve

zähfließender Verkehr

Sommer



Abstraktion des Szenario-Begriffs

funktional	logisch
Fernautobahn	Regelquerschnitt: RQ 33, 36 oder 43,5
Linkskurve	Kurvenradius: 1,0–2,0 km
zähfließender Verkehr	Geschwindigkeit: 7–20 km/h
Sommer	Lufttemperatur: 15–40 °C



Abstraktion des Szenario-Begriffs

funktional	logisch		konkret
Fernautobahn	Regelquerschnitt:	RQ 33, 36 oder 43,5	RQ 33
Linkskurve	Kurvenradius:	1,0–2,0 km	1,5 km
zähfließender Verkehr	Geschwindigkeit:	7–20 km/h	16 km/h
Sommer	Lufttemperatur:	15–40 °C	27 °C



Synthetische, idealtypische Simulationsstrecken

- Parameterbereiche „kommen aus der Testspezifikationsdatenbank“
- Automatische Streckengenerierung für *konkrete* Parameterausprägungen
- Parametrische Straßenbeschreibung in vereinfachter domain-specific language (DSL)

```
<section length="1000">  
  <road crossSection="RQ36" mirror="true"/>  
  <course>  
    <arc radius="250"/>  
  </course>  
  <objects>  
    <infrastructure  
      type="noise barrier" t="0.5"  
      repeated="true" right="true"  
      center="false" left="true"/>  
    </objects>  
</section>
```



Synthetische, idealtypische Simulationsstrecken

- Parameterbereiche „kommen aus der Testspezifikationsdatenbank“
- Automatische Streckengenerierung für *konkrete* Parameterausprägungen
- Parametrische Straßenbeschreibung in vereinfachter domain-specific language (DSL)
- Überführung nach OpenDRIVE

HD-Straßenbeschreibungsformat



OpenDRIVE?

OpenDRIVE: offener Industriestandard

- XML-basierte Datenbank
- Hierarchische Struktur

```

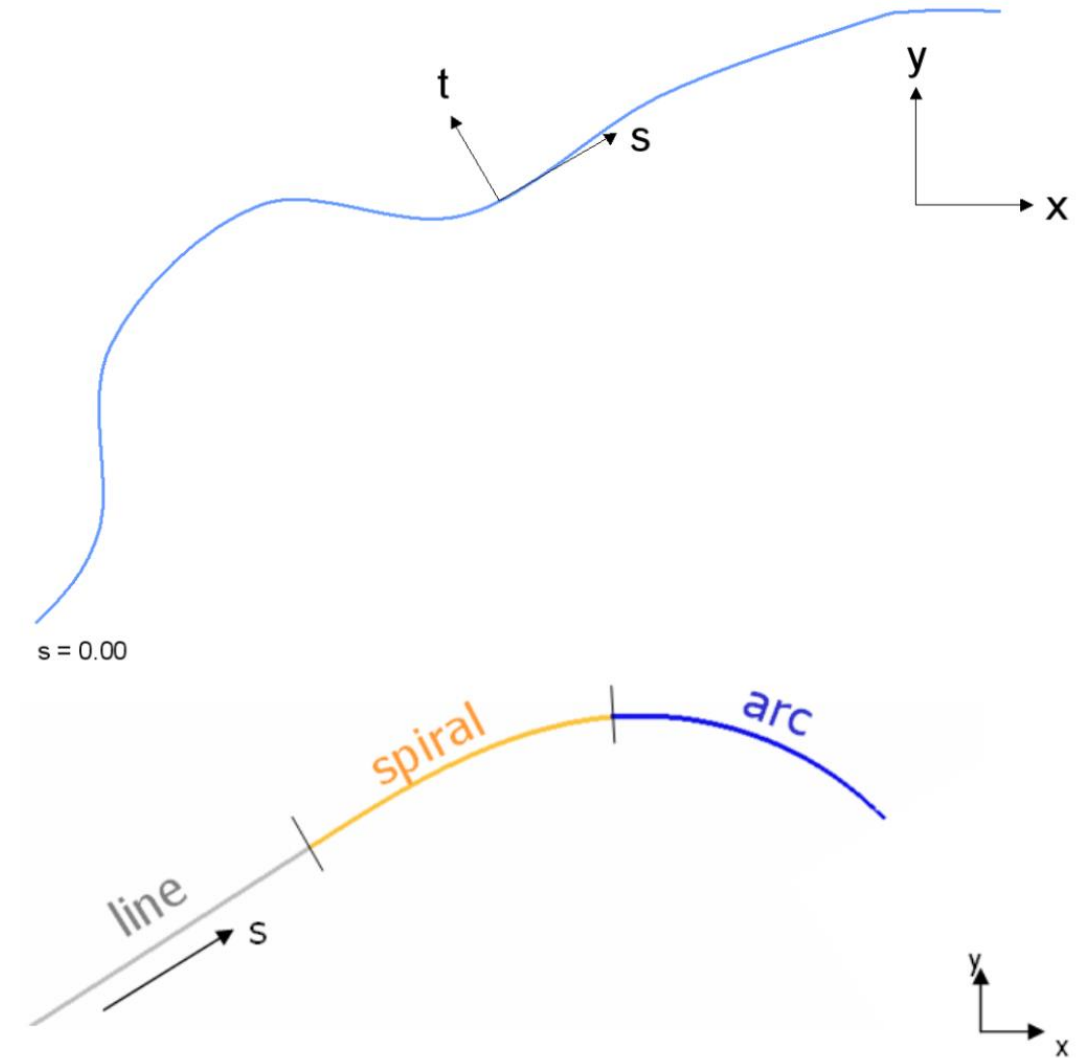
<road length="1000.0" id="0">
  <link>
    <successor elementType="road"
      elementId="1" contactPoint="start"/>
  </link>
  <type s="0.0" type="motorway"/>
  <planView>
    <geometry x="0.0" y="0.0" hdg="0.0"
      length="1000.0">
      <arc curvature="0.004"/>
    </geometry>
    <elevationProfile>
    </elevationProfile>
    <lateralProfile/>
    <lanes>
      <laneSection>
        <left>
          <lane id="7" type="border">
          </lane>
          <lane id="6" type="shoulder">
          </lane>
          <lane id="5" type="stop">
          </lane>
          <lane id="4" type="driving">
            <link>
              <successor id="4"/>
            </link>
            <width a="3.75"/>
            <roadMark type="solid" weight="bold"
              color="white" width="0.3">
              <type>
                <line length="1.0" space="0.0"
                  width="0.3"/>
              </type>
            </roadMark>
          </lane>
        </left>
      </laneSection>
    </lanes>
  </planView>
</road>

```



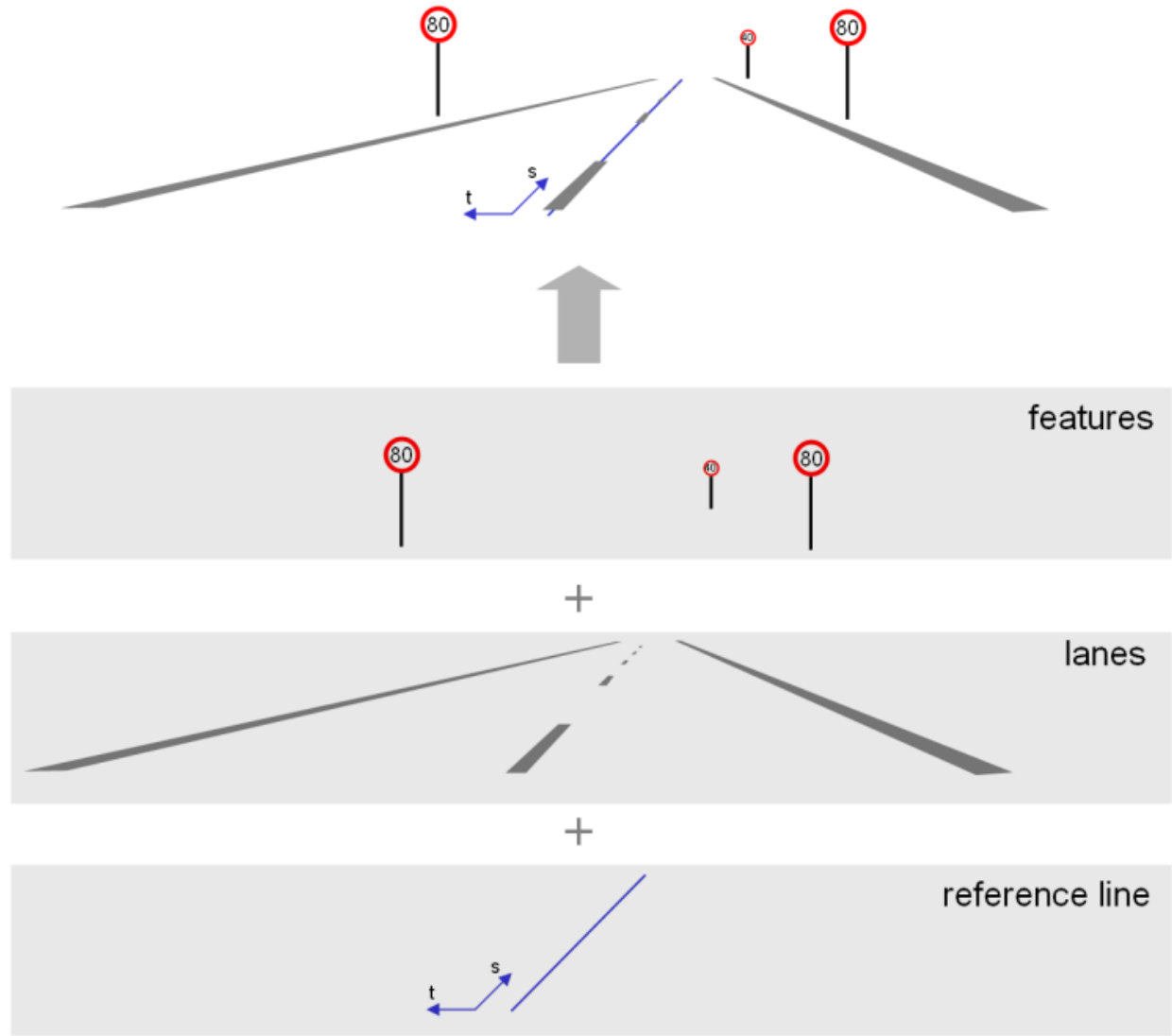
OpenDRIVE: offener Industriestandard

- XML-basierte Datenbank
- Hierarchische Struktur
- Straßentopografie (3D) und -topologie
 - Mathematisch, kontinuierlich beschrieben



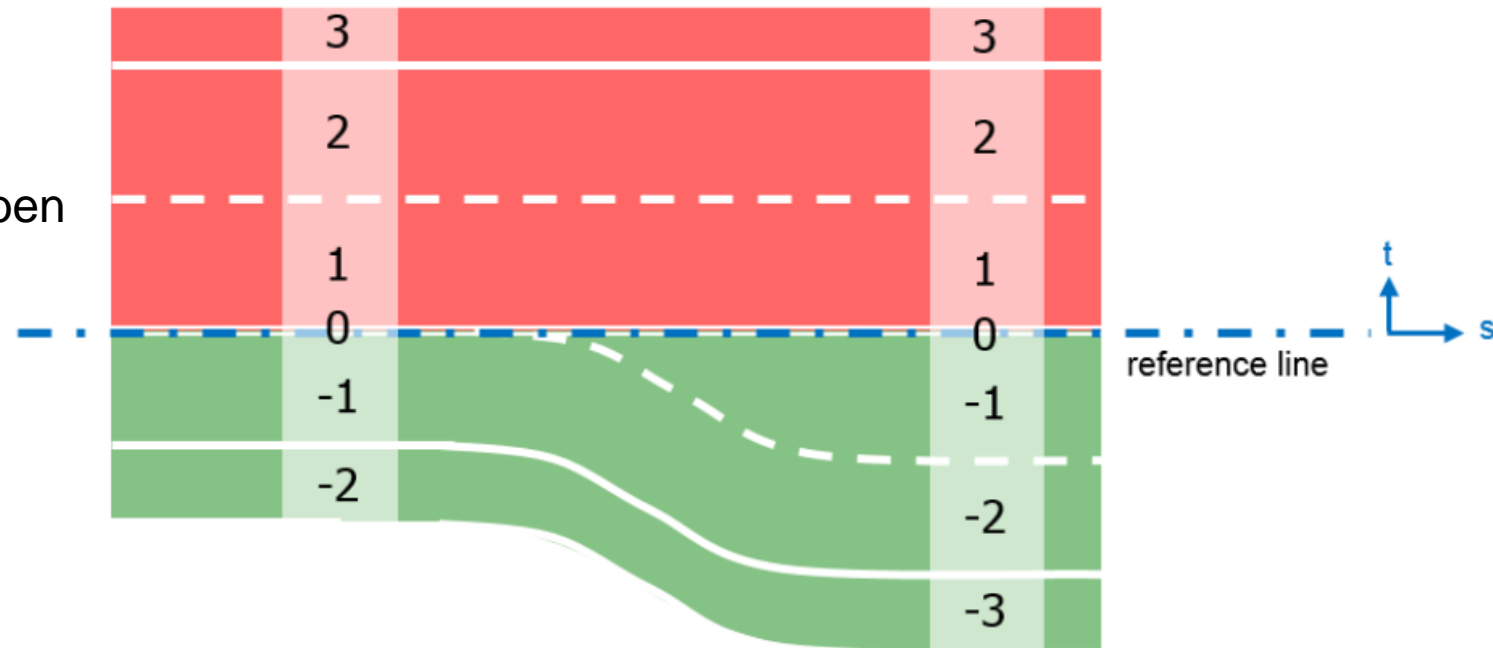
OpenDRIVE: offener Industriestandard

- XML-basierte Datenbank
- Hierarchische Struktur
- Straßentopografie (3D) und -topologie
 - Mathematisch, kontinuierlich beschrieben
- Fahrstreifengenau
- Alle Elemente „auf Referenzlinie bezogen“



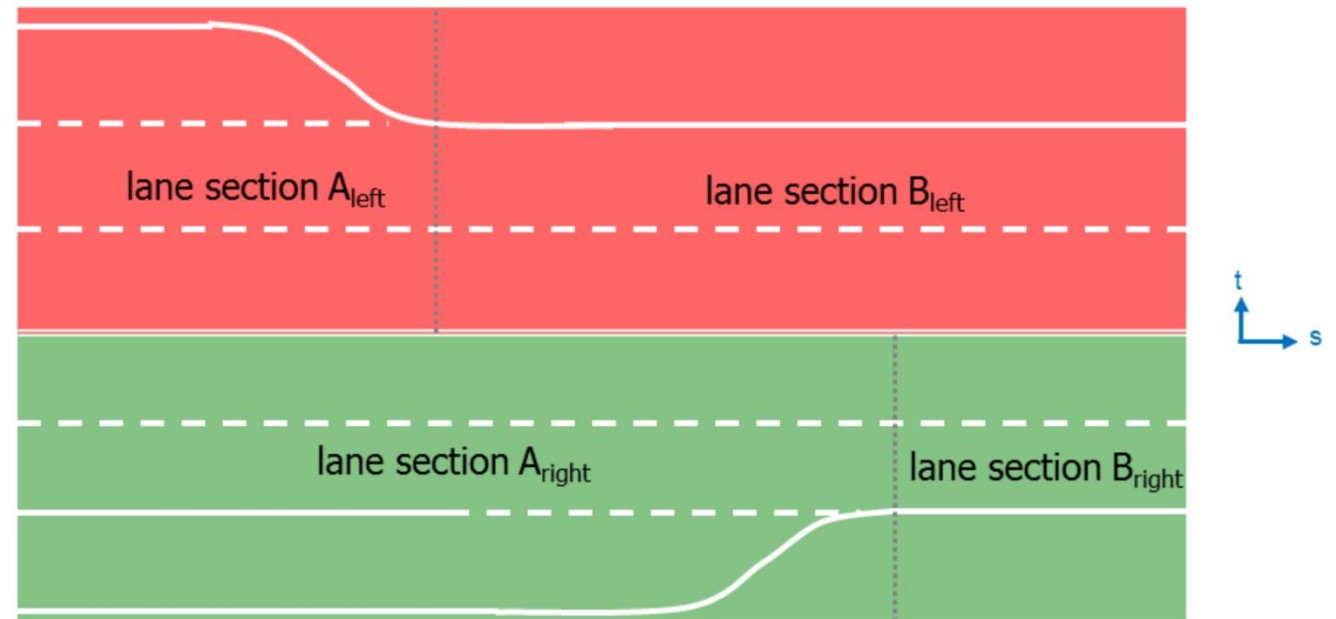
OpenDRIVE: offener Industriestandard

- XML-basierte Datenbank
- Hierarchische Struktur
- Straßentopografie (3D) und -topologie
 - Mathematisch, kontinuierlich beschrieben
- Fahrstreifengenau
- Alle Elemente „auf Referenzlinie bezogen“



OpenDRIVE: offener Industriestandard

- XML-basierte Datenbank
- Hierarchische Struktur
- Straßentopografie (3D) und -topologie
 - Mathematisch, kontinuierlich beschrieben
- Fahrstreifengenau
- Alle Elemente „auf Referenzlinie bezogen“

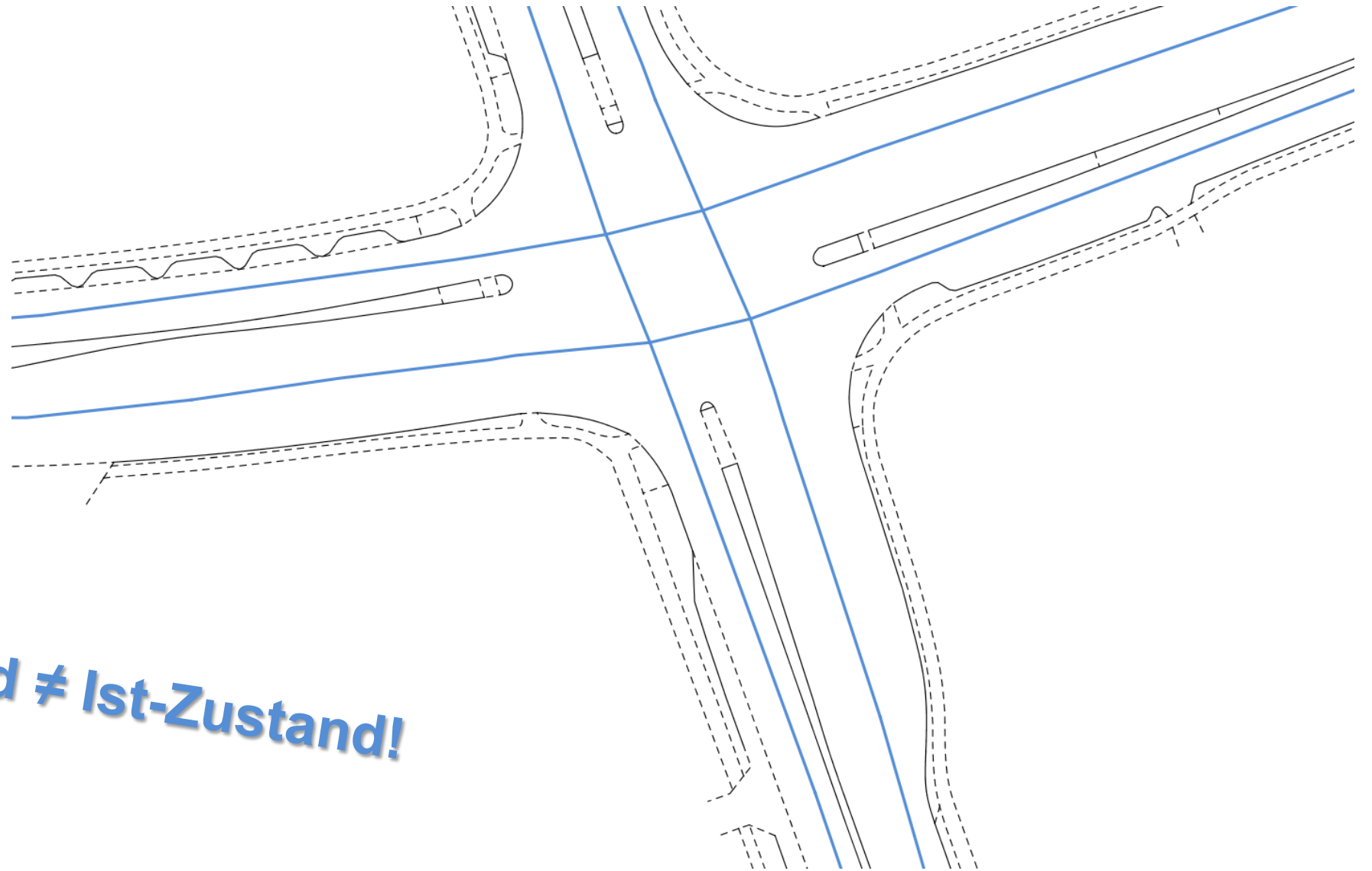


Realdatenbasiert



**Und was ist eigentlich eine
*nicht-hochgenaue Karte?***

Katasterdaten?



Plan-Zustand ≠ Ist-Zustand!



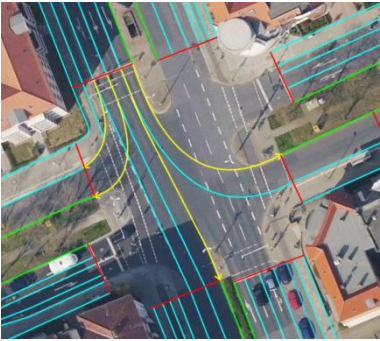
Datenerfassung

- Meistens projektbasiert beauftragt
- Terrestrisches Mobile Mapping
 - Heterogene Sensorplattform
 - GNSS
 - IMU
 - (Stereo)Kamerasystem
 - LiDAR
- Vielleicht bald automatisiert aus der Luft?
→ mFUND-Projekt AeroMap

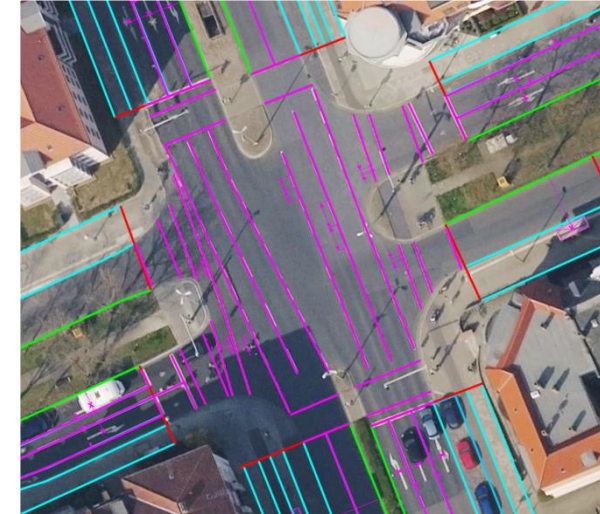


Road2Simulation: vereinfachter GIS-Ansatz

- Leitfaden zur Erfassung von Straßenzügen für eine einfache Konvertierung der Messdaten nach bspw. OpenDRIVE



- Berücksichtigt Straßenachsen, Abbiegepfade, Spurgrenzen, Fahrbahnmarkierungen, Objekte, Schilder, Lichtsignalanlagen



Königsdisciplin: VR-Anwendungen auf Basis hochgenauer Karten



Die HD-Map

Im Fahrzeug



Wissen für Morgen



Zur Erinnerung

Szenarienanalyse & Qualitätsmaße

- Definiert relevante Szenarien für einen „Autobahn-Chauffeur“
- Untersucht Leistungsfähigkeit von Mensch und Maschine
- Beantwortet die Frage „wie gut ist gut genug?“

Testen

- Erarbeitet Methoden und Werkzeuge für Tests
- im Labor,
- auf einem Prüfgelände,
- im realen Verkehrsgeschehen

Umsetzungsprozesse

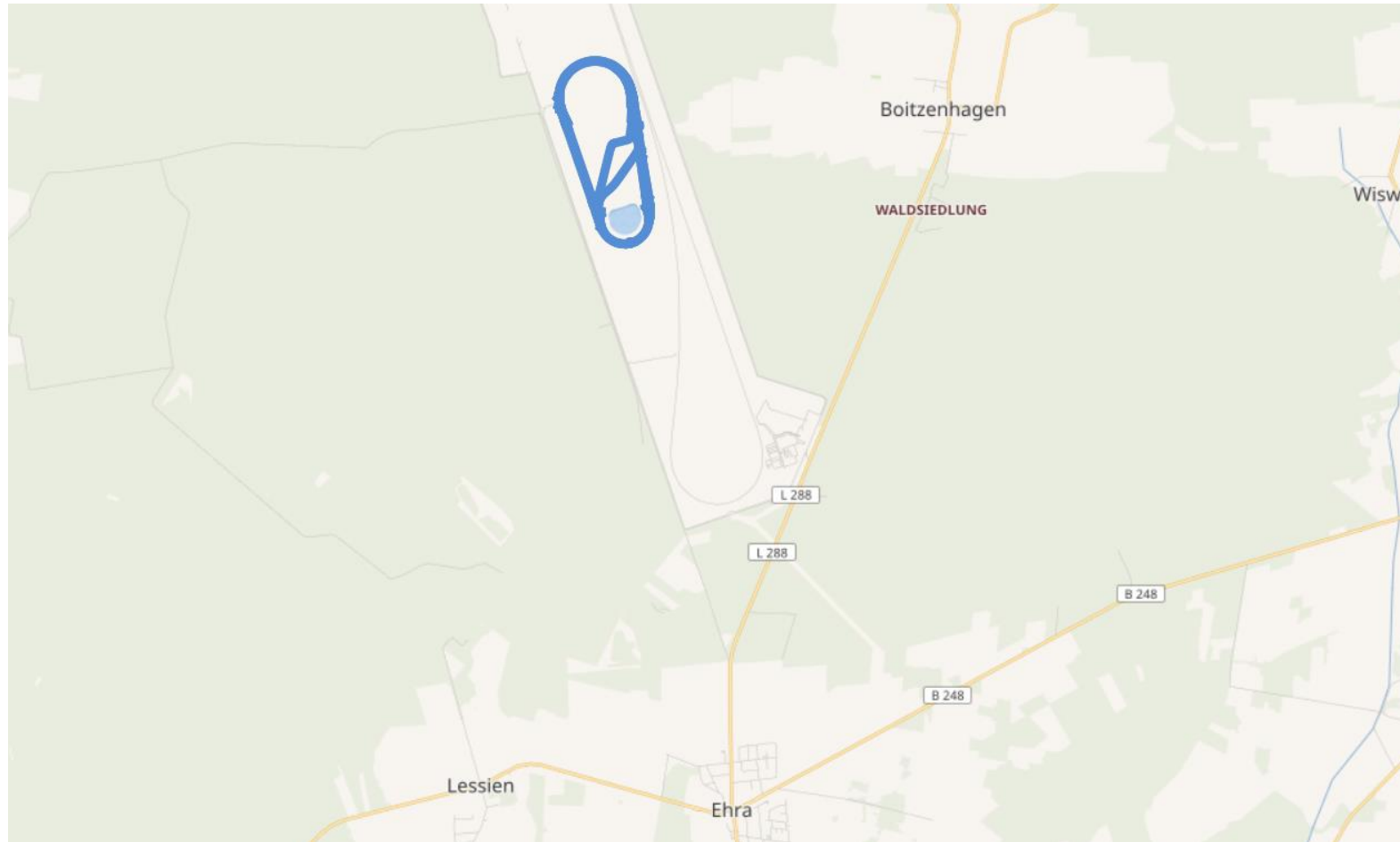
- Analysiert Industrieprozesse im Kontext der Absicherung
- Bereitet das Testen mithilfe neuer Prozesse vor

Ergebnisreflektion & Einbettung

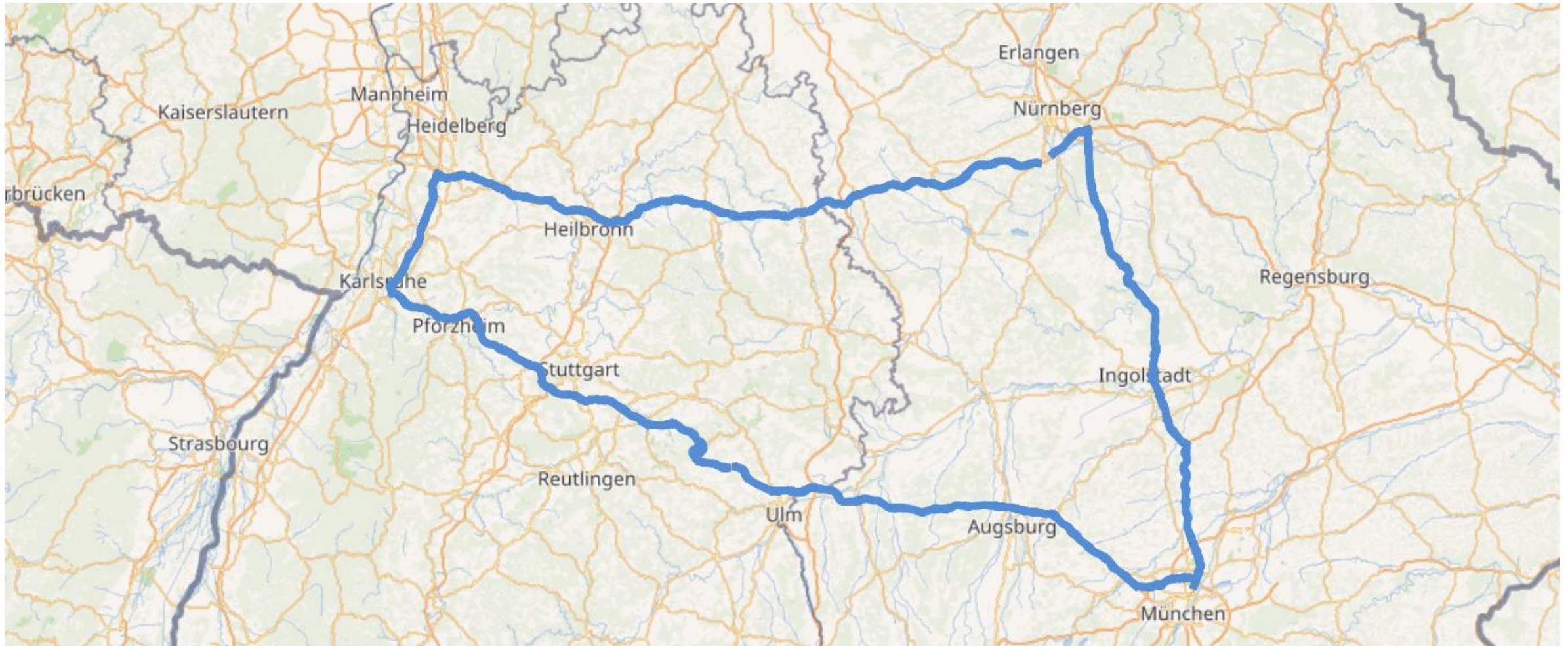
- Stellt sicher, dass erarbeitete Verfahren auch auf andere Automationslevel übertragbar sind
- Stellt sicher, dass Werkzeuge und Prozesse in Unternehmen integriert werden können



Hochgenaue Realdaten in PEGASUS: VW-Prüfgelände in Ehra-Lessien



Hochgenaue Realdaten in PEGASUS: 700 km* A8, A9, A6, A5



Hochgenaue Realdaten



Die eierlegende Wollmilch-HD-Map: Anwendungsfall beachten

Anforderungen in der Simulation

- Absolute Koordinatenfehler weniger relevant
- Sehr geringere relative Koordinatenfehler
- Konsistentes Topologie-/Logikmodell
- Fahrsimulation: Großflächige Abdeckung, auch außerhalb der Fahrbahn
- Fahrsimulation: Zusätzliche Attribute für die Visualisierung
 - 3D-Modell-Parameter, Texturen etc.
 - Externe Verknüpfung zu anderen Daten

Anforderungen im Fahrzeug

- Geringe absolute Koordinatenfehler
- Geringe relative Koordinatenfehler
- „Kompaktheit“
- Datenaktualität!
 - Metadaten zu Qualität/Signifikanz von enthaltener Information



Welches HD-Datenformat ist „das Richtige“?

OpenDRIVE

Lanelet/Lanelet2

IPG ROAD5

TomTom HD Map RoadDNA

NDS Open Lane Model (Navigation Data Standard)

Here HD Live Map

OpenStreetMap?



STADTBELEUCHTUNG 902945

Source: BS | Energy

x: 605 168.6 r: 15
y: 577 306.24 (UTM)

<https://youtu.be/diEnlUT6HmA>

Dipl.-Geoinf. Deutsches Zentrum
Michael Scholz für Luft- und Raumfahrt e.V.

Datenmanagement und Institut für
Geodatenverarbeitung Verkehrssystemtechnik

Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig



Telefon +49 531 295-3158
E-Mail michael.scholz@dlr.de
Internet www.DLR.de/ts

LICHTSIGNALANLAGE 25139

Source: BELLIS

x: 605 162.71 r: 15
y: 577 297.43 (UTM)

VORFAHRT 51236

Source: BELLIS

x: 605 156.88 r: 30
y: 577 298.07 (UTM)

Fahrbahnmarkierung 85736A

Source: Mobile
Mapping

x: 605 160.78 r: 15
y: 577 285.07 (UTM)

GEBÄUDE 7267839

Source: Geoinformation
Braunschweig

x: 605 153.39 r: 0
y: 577 302.98 (UTM)

GELÄNDEMÖDELL

Source: Geoinformation Braunschweig